

DOI: 10.31393/reports-vnmedical-2025-29(1)-18

УДК: 340.624.6:577.1

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ ЦИРКУЛЮЮЧОЇ КРОВІ В ПАЦІЄНТІВ ПЛАНОВИХ ТА УРГЕНТНИХ ОПЕРАТИВНИХ УТРУЧАНЬ У ВІДПОВІДЬ НА ВОЛЕМІЧНЕ НАВАНТАЖЕННЯ

Креньов К. Ю.¹, Суходоля А. І.², Лобода І. В.²

¹КНП “Хмельницька обласна лікарня” Хмельницької обласної ради (вул. Пілотська, 1, м. Хмельницький, Україна, 29000),

²Вінницький національний медичний університет ім. М.І. Пирогова (вул. Пирогова, 56, м. Вінниця, Україна, 21018)

Відповідальний за листування:

e-mail: anest1976k@gmail.com

Статтю отримано 15 листопада 2024 р.; прийнято до друку 20 грудня 2024 р.

Анотація. Зміни об'єму циркулюючої крові (ОЦК) під час виникнення критичних ситуацій непередбачувані, оскільки механізми компенсації працюють паралельно з факторами агресії. Метою дослідження було порівняти динаміку електричної опірності крові в пацієнтів планових та ургентних оперативних утручань у відповідь на проведення внутрішньовенної інфузії 0,9% NaCl. Визначення електричних властивостей крові проводили за допомогою солеміру “EC/TDS-616” у двох стандартних режимах EC та TDS до (EC 0 та TDS 0) та після болюсу 400 мл 0,9% розчину NaCl (EC 60 та TDS 60), інфузію якого здійснювали протягом 60 хвилин. Статистичну обробку даних проводили з використанням формул Windows 11, Microsoft Office Excel із визначенням середнього значення, стандартного відхилення, вирахуванням t-критерію Ст'юдента та похибки-р. Установлено достовірні відмінності в електричних властивостях крові пацієнтів у випадках ургентної та планової хірургії на всіх етапах дослідження (режим TDS 0 хв у контрольній групі 1320,6±134,15 проти 1114,27±202,32 у групі дослідження з $p=0,0029$ ($p\leq 0,05$); режим ES 0 хв у групі контролю 668,13±104,8 проти 560±97,02 у групі дослідження з $p=0,0076$ ($p\leq 0,05$); режим TDS 60 хв 1300,27±137,35 у групі контролю проти 1073,07±169,04 у групі дослідження з $p=0,00044$ ($p\leq 0,05$) та режим ES 60 хв 639,33±64,74 у групі контролю проти 524,47±105,38 у групі дослідження з $p=0,017$ ($p\leq 0,05$)), що можуть свідчити про глибші розлади гомеостазу в пацієнтів у критичному стані, попри відносно стабільні показники центральної гемодинаміки.

Ключові слова: електричний опір, об'єм циркулюючої крові, гемодинаміка, волемічне навантаження, електрична опірність крові.

Вступ

Коливання, яких зазнає об'єм циркулюючої крові (ОЦК) під час виникнення критичних станів та протягом інтенсивної терапії часто непередбачувані [14, 20], оскільки механізми компенсації працюють паралельно з факторами агресії, як патологічного стану, так і медикаментозних впливів [4, 9]. Механізмами природної регуляції є зміни серцевого викиду (СВ), тону судинного русла, затримка екскреції натрію та води під час включення пізніх ниркових механізмів компенсації гіповолемії, мобілізація крові із судин мезентеріальної венозної системи [3, 8]. Під час розвитку критичних станів, зокрема септичного та гіповолемічного шоку, які супроводжуються відносною чи абсолютною гіповолемією [7, 17], діастолічною дисфункцією міокарду, підвищеною проникністю інтерстицію, компенсація рідинних секторів та центральної гемодинаміки часто тимчасова та недостатня [12, 19]. Існуючі діагностичні методики зазвичай є недосконалими та потребують складних інвазійних утручань [10, 18].

Метою нашого дослідження було порівняння динаміки електричної опірності крові в умовах клініки в пацієнтів планових та ургентних оперативних утручань у відповідь на проведення внутрішньовенної інфузії 0,9% NaCl.

Матеріали та методи

Усіх пацієнтів розподілили на дві групи, зіставні за віком та важкістю стану. Критеріями відбору до групи контролю (n=15) були: вік 18-60 років, відсутність хронічних

декомпенсованих захворювань, плановий характер операції. Критерії відбору до групи дослідження (n=15): вік 18-60 років, відсутність хронічних декомпенсованих захворювань, ургентний характер оперативного втручання (абдомінальна хірургія). У серії дослідів вивчали електричний опір та вміст солей крові пацієнтів зазначених груп за допомогою солеміра «EC/TDS-616» у двох стандартних режимах EC та TDS, де EC – електричний опір, TDS – загальна кількість усіх розчинених у воді солей до (EC 0 та TDS 0) та після болюсу 400 мл 0,9% розчину NaCl (EC 60 та TDS 60), інфузію якого здійснювали протягом 60 хвилин. Для цього до 5 мл крові пацієнта додавали 5 мл 0,9% розчину NaCl у вказані проміжки часу: 0 хв та 60 хв. Апарат перед кожним вимірюванням калібрували за дистильованою водою. Після кожного дослідження електрод приладу також промивали дистильованою водою та висушували серветкою (рис. 1). Статистичний аналіз проводили за допомогою формул таблиці Excel із визначенням середнього значення в групах, стандартного відхилення та двовибірковим t-тестом із постійною дисперсією.

Проведені дослідження повністю відповідають основним біоетичним нормам Гельсінської декларації, Конвенції Ради Європи про права людини та біомедицину, відповідним положенням ВООЗ та МОЗ України, а також етичним стандартам, установленим Комітетом з біоетики Вінницького національного медичного університету (протокол № 11 від 12.11.2024 року).

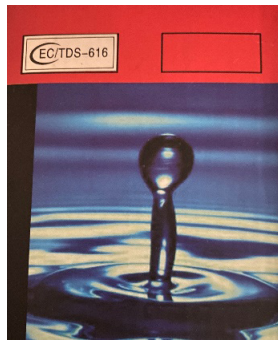


Рис. 1. Солемір «EC/TDS-616»



Результати. Обговорення

Відзначимо, що в проведених серіях дослідів у групі пацієнтів планової хірургії (група контролю) під час вимірювань у стандартних умовах показник загального вмісту солей становив $1320,6 \pm 134,15$ на початку дослідів та $1300,27 \pm 137,35$ (вимірювання через 60 хв) після болюсу 0,9% NaCl, що суттєво не відрізнялися, $p \geq 0,05$. Показник електричної опірності крові зі свого боку також не мав достовірної різниці: на початку дослідів становив $668,13 \pm 104,8$ та $639,33 \pm 64,74$ після болюсу 0,9% NaCl (60-та хвилинка), $p \geq 0,05$. Дані відображено в таблиці 1.

Таблиця 1. Результати аналізу електричної опірності крові в пацієнтів контрольної групи (планові хірургічні втручання).

Пацієнти	TDS 0	TDS bolus 60	p	EC 0	EC bolus 60	p
	кров контроль	кров контроль		кров контроль	кров контроль	
1	1253	1368		645	643	
2	1166	1171		631	633	
3	1121	1132		511	566	
4	1132	1128		588	591	
5	1274	1202		637	586	
6	1384	1392		695	694	
7	1405	1500		704	748	
8	1385	1503		699	752	
9	1107	1111		535	541	
10	1313	1361		678	671	
11	1447	1463		521	540	
12	1367	1378		681	698	
13	1489	1305		855	642	
14	1440	1360		878	662	
15	1526	1130		764	623	
M±m	1320,6±134,15	1300,27±137,35	0,69 p≥0,05	668,13±104,8	639,33±64,74	0,39 p≥0,05

Натомість у групах пацієнтів, що готувалися до ургентних оперативних втручань (група дослідження) під час вимірювань у стандартних умовах показник загального вмісту солей становив $1114,27 \pm 202,32$ на початку дослідів та $1073,07 \pm 169,04$ (вимірювання через 60 хв) після болюсу 0,9% NaCl, що істотно не відрізнялися, $p \geq 0,05$. Показник електричної опірності крові також не мав суттєвої різниці: $560 \pm 97,02$ – на початку дослідів, $524,47 \pm 105,38$ – після болюсу 0,9% NaCl (60-та хвилинка), $p \geq 0,05$. Дані експерименту відображено в таблиці 2.

Таблиця 2. Результати аналізу електричної опірності крові в пацієнтів групи дослідження (ургентні хірургічні втручання).

Пацієнти	TDS 0	TDS bolus 60	p	EC 0	EC bolus 60	p
	кров експеримент	кров експеримент		кров експеримент	кров експеримент	
1	968	1000		481	498	
2	1299	1025		696	506	
3	1143	1069		573	529	
4	1180	1142		586	570	
5	989	1056		485	526	
6	1286	1378		634	602	
7	1105	1000		556	491	
8	878	925		439	459	
9	741	1369		436	674	
10	1082	905		524	448	
11	1234	1107		614	551	
12	1292	1060		644	522	
13	795	755		390	873	
14	1335	1018		660	510	
15	1387	1287		682	608	
M±m	1114,27±202,32	1073,07±169,04	0,55 p≥0,05	560±97,02	524,47±105,38	0,9 p≥0,05

У процесі проведення міжгрупового аналізу виявлено суттєві достовірні ($p \leq 0,05$) відмінності в групах пацієнтів планових та ургентних оперативних втручань під час введення болюсу 0,9% NaCl в усі часові проміжки, причому достовірною різниця в загальному вмісті солей та електричній опірності крові була суттєвою вже на початковому етапі експерименту, що може свідчити про більш глибокі розлади гомеостазу в групі дослідження. Дані наведено в таблиці 3.

Таблиця 3. Результати аналізу електричної опірності крові в пацієнтів контрольної групи (планові хірургічні втручання) та групи дослідження (ургентні хірургічні втручання).

Пацієнти	TDS 0	TDS 0	TDS bolus 60	TDS bolus 60	EC 0	EC 0	EC bolus 60	EC bolus 60
	кров контроль	кров експеримент	кров контроль	кров експеримент	кров контроль	кров експеримент	кров контроль	кров експеримент
1	1253	968	1368	1000	645	481	643	498
2	1166	1299	1171	1025	631	696	633	506
3	1121	1143	1132	1069	511	573	566	529
4	1132	1180	1128	1142	588	586	591	570
5	1274	989	1202	1056	637	485	586	526
6	1384	1286	1392	1378	695	634	694	602
7	1405	1105	1500	1000	704	556	748	491
8	1385	878	1503	925	699	439	752	459
9	1107	741	1111	1369	535	436	541	674
10	1313	1082	1361	905	678	524	671	448
11	1447	1234	1463	1107	521	614	540	551
12	1367	1292	1378	1060	681	644	698	522
13	1489	795	1305	755	855	390	642	873
14	1440	1335	1360	1018	878	660	662	510
15	1526	1387	1130	1287	764	682	623	608
M±m	1320,6±134,15	1114,27±202,32	1300,27±137,35	1073,07±169,04	668,13±104,8	560±97,02	639,33±64,74	524,47±105,38
p		0,0029 p≤0,05		0,00044 p≤0,05		0,0076 p≤0,05		0,017 p≤0,05

Дані вищенаведених таблиць, що демонструють динаміку змін електричної опірності крові та загального

вмісту солей у відібраних пробах пацієнтів групи контролю та групи дослідження, підсумовано на рисунку 2.

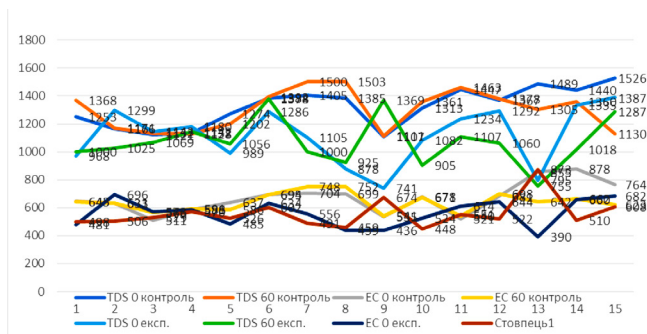


Рис. 2. Результати аналізу електричної опірності крові в пацієнтів контрольної групи (планові хірургічні втручання) та групи дослідження (ургентні хірургічні втручання).

Під час аналізу літературних даних привертає увагу місце кристалізмів, зокрема 0,9% розчину NaCl у наданні допомоги пацієнтам у критичних станах [2, 16]. Ресусцитацію при сепсисі, травми, перитоніті, деструктивному панкреатиті, важких опіках, які супроводжуються шоком, проводять із використанням кристалізмів (збалансовані розчини електролітів, 0,9% розчин натрію хлориду), природніх та синтетичних колоїдів, препаратів крові. На сучасному етапі не відзначено переваг у використанні 0,9% розчину натрію хлориду та збалансованих кристалізмів, окрім ризиків гіперхлоремічного ацидозу в групі "фізіологічного" розчину [11]. Сучасна інтенсивна терапія шоків включає: рідинну ресусцитацію, раннє використання препаратів для вазопресорної підтримки, оптимізацію доставки кисню до тканин через підвищення СВ та кисневої ємності крові, що досягається використанням респіраторної підтримки та трансфузіями еритроцитів. Концепцію лікування шоків

узагальнюють аббревіатурою ROSE, де R-resuscitation, O-optimization, S-stabilization, E-evacuation [1, 13]. Зіставлення результатів вимірювання центрального венозного тиску (ЦВТ), даних серцевого викиду (СВ) за результатами ехокардіоскопії та динаміки діаметра нижньої порожнистої вени під час УЗД обстеження черевної порожнини дають приблизне уявлення про дефіцит та ефективність корекції ОЦК [5, 6, 15]. Отже, доповнення вищенаведених діагностичних можливостей методами визначення електричних властивостей крові сприятиме детальнішій діагностиці дефіциту ОЦК та динаміці його відновлення.

Висновки та перспективи подальших розробок

1. Установлено достовірні відмінності в електричних властивостях крові пацієнтів у випадках ургентної та планової хірургії на всіх етапах дослідження (режим TDS 0 хв у контрольній групі $1320,6 \pm 134,15$ проти $1114,27 \pm 202,32$ у групі дослідження з $p=0,0029$ ($p \leq 0,05$); режим ES 0 хв у групі контролю $668,13 \pm 104,8$ проти $560 \pm 97,02$ у групі дослідження з $p=0,0076$ ($p \leq 0,05$); режим TDS 60 хв $1300,27 \pm 137,35$ у групі контролю проти $1073,07 \pm 169,04$ у групі дослідження з $p=0,00044$ ($p \leq 0,05$) та режим ES 60 хв $639,33 \pm 64,74$ у групі контролю проти $524,47 \pm 105,38$ у групі дослідження з $p=0,017$ ($p \leq 0,05$)), що можуть свідчити про більш глибокі розлади гомеостазу в пацієнтів у критичному стані попри відносно стабільні показники центральної гемодинаміки.

Доцільно провести вищезазначені дослідження у великих групах пацієнтів із можливим доповненням стандартних діагностичних можливостей методами визначення електричних властивостей крові задля більш детальної діагностики дефіциту ОЦК та його динаміки.

Список посилань – References

- [1] Bonanno, F. G. (2024). Management of Hemorrhagic Shock According to the Revised «Physiological Classification» - Update 2024. *New Visions in Medicine and Medical Science*, (4), 136-181. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm12010260>
- [2] Cannon, J. W. (2018). Hemorrhagic Shock. *N Engl J Med.*, 378(4), 370-379. DOI: <https://doi.org/10.1056/NEJMr1705649>
- [3] Cartotto, R., Johnson, L. S., Savetamal, A., Greenhalgh, D., Kubasiak, J. C., Pham, T. N., ... & Main, E. (2023). American Burn Association Clinical Practice Guidelines on Burn Shock Resuscitation. *Journal of Burn Care & Research*, 45(3), 565-589. <https://doi.org/10.1093/jbcr/irad125>
- [4] Cecconi, M., De Backer, D., Antonelli, M., Beale, R., Bakker, J., Hofer, C., ... & Rhodes, A. (2014). Consensus on circulatory shock and hemodynamic monitoring. Task force of the European Society of Intensive Care Medicine. *Intensive Care Med.*, 40(12), 1795-1815. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00134-014-3525-z>
- [5] Cohen, I., Tau, N., Lekach, R., Lekach, R., Ironi, A., Kraus, M., & Guranda, L. (2023). CT signs of hypovolemic shock complex in patients with non-traumatic shock. *Abdom Radiol (NY)*, 48(1), 229-235. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00261-022-03698-9>
- [6] Estoos, E., & Nakitende, D. (2023). *Diagnostic Ultrasound Use in Undifferentiated Hypotension*. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK499955/>
- [7] Hahn, R. G., Nilsson, L., & Bahlmann, H. (2023). Predicting fluid responsiveness using esophagus Doppler monitoring and pulse oximetry derived pleth variability index; retrospective analysis of a hemodynamic study. *Acta Anaesthesiol Scand.*, 67(8), 1037-44. DOI: <https://doi.org/10.1111/aas.14260>
- [8] Kanwar, M. K., Blumer, V., Zhang, Y., Sinha, S. S., Garan, A. R., Hernandez-Montfort, J., ... & Kapur, N. K. (2023). Pulmonary Artery Catheter Use and Risk of In-hospital Death in Heart Failure Cardiogenic Shock. *J Card Fail.*, 29(9), 1234-1244. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cardfail.2023.05.001>
- [9] Kaufman, D. A., Lopes, M., Maviya, N., & Magder, S. A. (2023). The ins and outs of IV fluids in hemodynamic resuscitation. *Crit Care Med.*, 51(10), 1397-406. DOI: <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000006001>
- [10] Kendrick, J. B., Kaye, A. D., Tong, Y., Belani, K., Urman, R. D., Hoffman, C., & Liu, H. (2019). Goal-directed fluid therapy in the perioperative setting. *J Anaesthesiol Clin Pharmacol.*, 35(1), 29-34. DOI: https://doi.org/10.4103/joacp.JOACP_26_18
- [11] Kietiaibi, S., Ahmed, A., Afshari, A., Albaladejo, P., Aldecoa, C., Barauskas, G., ... & Zacharowski, K. (2023). Management of severe peri-operative bleeding: Guidelines from the European Society of Anaesthesiology and Intensive Care: Second update 2022. *Eur J Anaesthesiol.*, 40(4), 226-304. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eurj.2023.05.001>

- org/10.1097/EJA.0000000000001803
- [12] Leibner, E., Andreae, M., Galvagno, S. M., & Scalea, T. (2020). Damage control resuscitation. *Clin Exp Emerg Med.*, 7(1), 5-13. DOI: <https://doi.org/10.15441/ceem.19.089>
- [13] NICE. (2016). *Suspected sepsis: recognition, diagnosis and early management*. NICE guideline Published: 13 July 2016. Last updated: 19 March 2024 www.nice.org.uk/guidance/ng51
- [14] Persona, P., Valeri, I., Saraceni, E., De Cassai, A., Calabrese, F., & Navalesi, P. (2021). Cardiac output evaluation on septic shock patients: comparison between calibrated and uncalibrated devices during vasopressor therapy. *J Clin Med.*, 10(2), 213. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm10020213>
- [15] Ramadan, A., Abdallah, T., Abdelsalam, H., Mokhtar, A., & Razeq, A. A. (2023). Evaluation of parameters used in echocardiography and ultrasound protocol for the diagnosis of shock etiology in emergency setting. *BMC Emerg Med.*, 23(1), 132. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12873-023-00902-x>
- [16] Soussi, S., Dos Santos, C., Jentzer, J. C., Mebazaa, A., Gayat, E., Poss, J., ... & Lawler, P. R. (2023). Distinct host-response signatures in circulatory shock: a narrative review. *Intensive Care Med Exp.*, 11(1), 50. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40635-023-00531-5>
- [17] Takagi, K., Kimmoun, A., Sato, N., & Mebazaa, A. (2020). Management of Acute Heart Failure during an Early Phase. *Int J Heart Fail.*, 2(2), 91-110. <https://doi.org/10.36628/ijhf.2019.0014>
- [18] Wang, F., Qiang, X., Jiang, S., Shao, J., Fang, B., & Zhou, L. (2021). The fluid management and hemodynamic characteristics of PICCO employed on young children with severe hand, foot, and mouth disease-a retrospective study. *BMC Infect Dis.*, 21(1), 208. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12879-021-05889-z>
- [19] Wayland, J., Teixeira, J. P., & Nielsen, N. D. (2024). Sepsis in 2024: a review. *Anaesthesia and Intensive care medicine*, 25(10), 642-651. <https://doi.org/10.1016/j.mpaic.2024.06.010>
- [20] Zampieri, F. G., Bagshaw, S. M., & Semler, M. W. (2023). Fluid therapy for critically ill adults with sepsis: A review. *JAMA*, 329(22), 1967-80. DOI: <https://doi.org/10.1001/jama.2023.7560>

STUDY OF THE ELECTRICAL RESISTANCE OF THE CIRCULATING BLOOD IN PATIENTS OF PLANNED AND URGENT OPERATIONS IN RESPONSE TO VOLUME LOAD

Krenov K. Yu., Sukhodolya A. I., Loboda I. V.

Annotation. Changes in the volume of circulating blood (VCB) during critical events are unpredictable, since compensation mechanisms work in parallel with factors of aggression. The aim of the study was to compare the dynamics of electrical resistance of blood in patients undergoing planned and urgent surgical interventions in response to intravenous infusion of 0.9% NaCl. Methodology: determination of the electrical properties of blood was carried out using the EC/TDS-616 saltimeter in two standard EC and TDS modes before (EC 0 and TDS 0) and after a bolus of 400 ml of 0.9% NaCl solution (EC 60 and TDS 60), the infusion of which was carried out for 60 minutes. Statistical data processing was carried out using Windows 11 Microsoft Office Excel formulas with determination of the mean value, standard deviation, calculation of Student's t-test and p-error. Reliable differences in the electrical properties of the blood of patients in cases of urgent and planned surgery at all stages of the study were established (TDS mode 0 min in the control group 1320.6 ± 134.15 vs. 1114.27 ± 202.32 in the experimental group with $p=0.0029$ ($p \leq 0.05$), ES mode 0 min in the control group 668.13 ± 104.8 versus 560 ± 97.02 in the experimental group with $p=0.0076$ ($p \leq 0.05$), TDS mode 60 min 1300.27 ± 137.35 in the control group versus 1073.07 ± 169.04 in the experimental group with $p=0.00044$ ($p \leq 0.05$) and ES mode 60 min 639.33 ± 64.74 in the control group versus 524.47 ± 105.38 in the experimental group with $p=0.017$ ($p \leq 0.05$)), which may indicate deeper homeostasis disorders in patients in critical condition despite relatively stable indicators of central hemodynamics.

Keywords: electrical resistance, volume of circulating blood, hemodynamics, volume load, electrical resistance of blood.